

KUAT TEKAN, KETAHANAN KEJUT, DAN MODULUS ELASTIK BETON RINGAN SERAT POLYPROPYLENE DENGAN AGREGAT PUMICE

Sudarmoko¹
Yoza Yanuar Pribadi²

ABSTRACT

Lightweight concrete have many advantages since it could reduce selfweight of structure, so the dimension of structure and the size of foundation could be minimized and the price of structure will be competitive comparing with the other materials. In order to increase the structural properties, a sum of fiber could be added into the concrete mixes.

The research was conducted to investigate the structural properties of fiber reinforced lightweight concrete using pumice as aggregate materials. Two types of fiber, i.e. Collated Fibrillated Polypropylene (CFP) and Twisted Bundle CFP were used in the research and added into the mixes in concentration of 0.055 % , 0.110 % and 0.165 % by volume. A series of specimens were made and tested in age of 14 and 28 days.

The results showed that the fiber reinforced lightweight concrete using pumice as aggregate materials have a minimum compressive strength of 23.71 Mpa at 28 days and a unit weight of 1881.49 (lighter of 20 % than normal concrete). Addition of polypropylene fiber decreased workability of mixes, but increased compressive and impact strength, and modulus of elasticity of 15.75 %, 218 % and 5 % respectively.

1. PENDAHULUAN

Pemakaian beton ringan (*lightweight concrete*) sebagai bahan struktur untuk bangunan-bangunan teknik sipil belum dikenal secara luas di Indonesia. Padahal beton jenis ini mempunyai banyak keuntungan, salah satunya adalah beratnya yang ringan, sehingga mampu mereduksi beban yang akan diterima fondasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan beton struktur yang ringan dengan menggunakan agregat pumice dan melihat pengaruh penambahan *Collated Fibrillated Polypropylene (CFP)* dan *Twisted Bundle CFP* dan *superplasticizer* pada kemudahan pengerjaan, kuat tekan, ketahanan kejut, dan modulus elastik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton normal merupakan bahan yang cukup berat, yaitu 2400 kg/m^3 . Untuk mengurangi beban mati struktur banyak dipakai beton ringan. Pengurangan berat ini disebabkan oleh adanya pori-pori atau gelembung udara yang terdapat pada agregat maupun mortar.

Berdasarkan ACI 213R-79 maka beton agregat ringan struktural didefinisikan sebagai : Beton dengan kuat tekan silinder umur 28 hari minimal 2500 psi (17,24 Mpa) dan berat kering udara tidak melebihi 115 pcf (1850 kg/m^3). Ada berbagai jenis agregat yang dapat diklasifikasikan sebagai agregat ringan. Dalam penelitian ini digunakan agregat ringan jenis *pumice*.

Pumice adalah agregat alam yang terbentuk dari bahan cairan vulkanik akibat proses pendinginan secara cepat. Oleh karena itu *pumice* banyak ditemukan di daerah pegunungan dan di dekat aliran sungai. *Pumice* menghasilkan beton ringan dengan berat jenis antara 720 sampai dengan 1440 kg/m^3 serta memberikan isolasi panas yang lebih baik dibandingkan dengan agregat ringan yang lain. Komposisi berat *pumice* berdasarkan data dari Bolgana meliputi 47 % SiO_2 , 23 % Al_2O_3 , 11 % Fe_2O_3 , 7 % CaO , 3 % MgO , dan 9 % bahan lainnya (FIP, 1983). Di Indonesia *pumice* banyak ditemukan di daerah Jawa Timur, terutama di daerah Sukapura, Probolinggo yang mencapai deposit seluas sampai 100 ha.

Ciri khas agregat ringan adalah mempunyai porositas dan daya serap air tinggi. Karena strukturnya berpori, agregat ringan mempunyai berat jenis dan kekuatan yang lebih rendah dari agregat normal. Daya serap yang besar dari agregat akan menurunkan kemudahan pengerjaan pada saat pelaksanaan pengadukan karena kadar air akan turun. Kedua hal ini perlu lebih dicermati pada pembuatan beton agregat ringan (FIP, 1983).

Pada agregat ringan karena strukturnya yang berpori-pori maka kekuatan dan kekakuannya akan lebih rendah dari agregat ringan, bahkan lebih rendah daripada kekuatan mortarnya. Oleh karena itu pada beton ringan dikenal istilah 'batas kekuatan' (*limit strength*), yaitu batas keadaan dimana kuat tekan beton sebanding dengan kuat tekan mortarnya, dan di bawah batas ini penggunaan faktor air semen untuk proporsi campuran betonnya masih efektif seperti pada kasus beton normal. Untuk menghasilkan beton dengan kekuatan yang melebihi 'batas kekuatan' dibutuhkan mortar dengan kekuatan yang lebih tinggi yang akan menambah berat betonnya. Hal ini bisa dicapai dengan menurunkan jumlah kandungan air, atau dengan menambah jumlah semen (FIP, 1983). Untuk keperluan kemudahan pengerjaan biasanya yang sering dilakukan adalah dengan menambah proporsi semen. Untuk beton mutu tinggi dengan agregat ringan, maka dibutuhkan kekuatan mortar yang jauh melebihi kekuatan beton ringannya.

Modulus elastik beton tergantung dari modulus elastik bahan penyusunnya (agregat dan semen) dan perbandingan bahan-bahan tersebut di dalam beton. Karena modulus elastik agregat ringan lebih rendah dari agregat normal dan bahkan sering lebih rendah dari pasta semennya, maka beton agregat ringan mempunyai modulus elastik yang lebih rendah dari beton normal dan nilai ini berkisar antara 12000 - 24000

Menurut ACI Committee 544, 1984 (dalam Soroushian dan Bayashi, 1987), *fiber reinforced concrete* didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus atau agregat halus dan kasar, serta sejumlah kecil serat. Ide dasar penambahan serat adalah memberi tulangan serat pada beton yang disebar merata secara random untuk mencegah retak-retak yang terjadi akibat pembebanan.

Untuk masalah kemudahan pengerjaan secara umum dapat dikatakan bahwa kemudahan pengerjaan akan menurun seiring dengan semakin besarnya konsentrasi dan aspek ratio serat (l/d : panjang serat/diameter serat). Penurunan nilai slam adukan dapat diatasi dengan penurunan diameter maksimum agregat, peninggian faktor air semen (f.a.s.), penambahan semen, ataupun pemakaian bahan tambah. Meskipun demikian jika konsentrasi dan aspek ratio serat melebihi batas tertentu tetap akan didapat suatu adukan dengan nilai slam sangat rendah sehingga sulit diaduk dan dicor dengan cara-cara biasa (Briggs dan Bowen, 1974).

Ritchie, 1975 (dalam Sudarmoko, 1991) dengan menggunakan serat polypropylene pada beton normal dan beton agregat ringan menunjukkan bahwa *Compacting Factor Apparatus* memberikan hasil yang terbaik dibandingkan dengan *VB-test* dan *slump test* untuk melihat tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton serat. Penelitian itu memperlihatkan bahwa walaupun nilai slam telah mencapai nilai nol, adukan masih mempunyai tingkat kemudahan pengerjaan yang cukup dan bereaksi dengan baik ketika dilakukan pemadatan.

Karena fungsi serat terutama adalah untuk menahan retak yang timbul akibat tarikan dan ditambah luas penampang yang tidak begitu besar, maka penambahan serat pada adukan beton hanya memberi pengaruh yang kecil pada kuat tekan (Sudarmoko, 1993). Ketahanan kejut (*impact resistance*) suatu material diketahui dari jumlah pukulan suatu massa yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu yang menyebabkan benda uji mengalami retak dan patah menjadi beberapa bagian. Beton tanpa tulangan (*plain concrete*) sebagai suatu struktur yang getas mempunyai ketahanan terhadap kejut yang rendah. Kontribusi utama penambahan serat adalah peningkatan ketahanan kejut pada beton (Sudarmoko, 1993).

Adanya serat dalam beton akan meningkatkan modulus elastik. Beton dengan serat panjang lurus, modulus elastiknya meningkat sesuai dengan konsentrasi serat yang ditambahkan. Begitu pula dengan serat baja dan karbon, kandungan serat 10 % dapat meningkatkan dua kali modulus elastik pasta semen non serat (Briggs dan Bowen, 1974).

Serat-serat sintesis polypropylene telah digunakan pada struktur beton sejak tahun 1965. Serat ini terbuat dari bahan yang ringan, tidak korosif, ulet, dan tahan zat kimia. Serat ini berfungsi memperkuat adukan beton dalam keadaan masih plastis berupa: mencegah segregasi, *plastic settlement cracks*, dan retak susut. Setelah beton mengeras serat membantu beton terhadap kerusakan akibat abrasi, lebih kedap air, tahan terhadap gaya kejut dan berulang, serta menambah keawetan (Soroushian dan Bayashi, 1987).

bahan tambah ini diharapkan dapat mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton pada saat masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Pada penelitian ini digunakan bahan tambah *superplasticizer* yang menjadikan butiran semen mempunyai sifat aktif dan tolak-menolak (*deflocculate*). Hal ini karena *superplasticizer* adalah amonika dengan sejumlah besar *group polar* di dalam rantai atom (N atau O) dimana anion berisi sebanyak 60 SO₃ grup. Dalam proses pengadukan ketika semen kontak dengan air, butiran-butiran kecil pecah menjadi fragmen-fragmen yang saling tarik-menarik. Dengan adanya *superplasticizer* menyebabkan butiran-butiran kecil menjadi tolak-menolak dan memisah sendiri-sendiri menjadi fragmen yang lebih kecil. *Superplasticizer* meresap pada permukaan butiran semen, dimana dalam hal ini partikel semen sangat kuat diresapi dengan ion negatif dan dengan demikian menunjukkan pengaruh saling tolak-menolak yang menyebabkan bertambahnya kecairan. Hal ini memungkinkan meningkatkan kemudahan pengerjaan.

3. CARA PENELITIAN

A. Alat

1. Timbangan
2. Kerucut konus dan batang penumbuk
3. Mesin Los Angeles
4. Saringan getar
5. Mesin aduk beton
6. Kerucut Abrams
7. Alat uji *Compacting Factor*
8. Mesin uji tekan beton
9. Alat uji ketahanan kejut

B. Bahan

1. Semen portland tipe I merk Nusantara dalam kemasan 50 kg
2. Pasir dari Sungai Krasak, Sleman
3. *Pumice* dari Wonokerto, Probolinggo
4. Air dari Laboratorium Mekanika Bahan PAU-IT UGM
5. Serat : FORTA Econo-Net (SE) panjang 19 mm berbentuk spiral (*Collated Fibrillated Polypropylene - CFP*) dan FORTA Ultra-Net (SU) panjang 54 mm berbentuk jaring (*Twisted Bundle Collated Fibrillated Polypropylene - TBCFP*).
6. *Superplasticizer* merk Sikament NN produksi SIK

C. Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan bahan

Dalam tahap ini dilakukan penyiapan bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian, dan dibagi dalam beberapa pekerjaan, yaitu :

- a. Pemeriksaan berat jenis, berat satuan, kadar air, volume pori, penyerapan air pasir dan *pumice*
- b. Pemeriksaan ketahanan aus agregat kasar (*pumice*) dengan mesin Los Angeles.
- c. Pemeriksaan gradasi agregat halus dengan saringan getar.
- d. Pemeriksaan gradasi agregat kasar.
- e. Pemeriksaan kualitas semen (halus dan tidak menggumpal).

2. Rencana campuran beton

Supartono (1991) menyebutkan bahwa perencanaan adukan beton ringan dapat dilakukan berdasarkan pedoman yang ada dalam *Standard Practice for selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-81)*. Pedoman ini memungkinkan nilai slam dan faktor air semen (f.a.s.) ditetapkan pada suatu nilai yang diinginkan, yang dalam penelitian ini ditetapkan berturut-turut sebesar 125 - 150 mm dan 0,45. Diameter maksimum *pumice* ditetapkan 19 mm dan kuat tekan rencana 37 Mpa. Konsentrasi serat dibuat dalam tiga variasi yaitu : di bawah dosis yang dianjurkan (500 gr/m³ beton), pada dosis yang dianjurkan (1000 gr/m³ beton), dan melebihi dosis (1500 gr/m³) sehingga diharapkan akan didapat dosis optimum. Dosis *superplasticizer* diambil sebesar 0,8 % berat semen.

3. Proses pembuatan benda uji

Bahan adukan beton sesuai dengan proporsinya dan sejumlah serat dalam variasi yang telah ditentukan diaduk sampai rata selama ± 4 menit. Sebelum dituangkan ke dalam cetakan, adukan diperiksa kelecakannya dalam dua cara yaitu uji slam dan Faktor Pemadatan. Benda uji dibuat berbentuk silinder tinggi 15 cm x diameter 30 cm sejumlah 42 buah untuk uji tekan dan modulus elastik serta silinder tinggi 6,5 cm x diameter 15 cm sejumlah 42 buah untuk uji kejut. Cetakan dibuka setelah satu hari, diberi tanggal pencoran dan kode benda uji : BN (beton non-serat), BSE1 (beton serat Econo-Net dosis 500 gr/m³ beton), BSE2 (beton serat Econo-Net dosis 1000 gr/m³ beton), BSE3 (beton serat Econo-Net dosis 1500 gr/m³ beton), BSU1 (beton serat Ultra-Net dosis 500 gr/m³ beton), BSU2 (beton serat Ultra-Net dosis 1000 gr/m³ beton), dan BSU3 (beton-serat Ultra-Net dosis 1500 gr/m³ beton), kemudian benda uji direndam air sampai pada hari pengujian yang telah ditetapkan (14 dan 28 hari).

4. Pengujian

Pengujian kuat tekan beton berupa uji tekan silinder pada waktu beton mencapai umur 14 dan 28 hari. Silinder ditekan samnai hancur dan beban maksimum dicatat

untuk menentukan kuat tekannya. Pengujian modulus elastik dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan.

Pengujian ketahanan kejut dilakukan dengan meletakkan benda uji dengan bola baja di atasnya dalam kerangka uji. Suatu beban seberat 5 kg dijatuhkan ke bola baja dengan tinggi jatuh 50 cm dan jumlah pukulan yang mengakibatkan retak pertama dan hancur total dicatat.

4. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pemeriksaan Agregat

Dari hasil pemeriksaan agregat halus didapatkan berat jenis, berat satuan, dan kadar air berturut-turut sebesar 2,503; 1749,524 kg/m³, dan 1,991 % dan agregat pumice berturut-turut sebesar 1,356; 645,687 kg/m³, dan 25,794 %. Menurut Tjokrodinuljo (1996) hasil pemeriksaan tersebut berarti pasir termasuk agregat normal dan pumice dapat digolongkan sebagai agregat ringan. Analisis gradasi pasir memberikan hasil seperti tercantum pada Daftar 1 dan agregat pumice diameter maksimum 20 mm seperti tercantum pada Daftar 2..

Dari hasil analisis gradasi didapatkan bahwa pasir masuk zone 2 (pasir agak kasar) dan pumice memenuhi persyaratan gradasi. Modulus halus butir pasir dan pumice berturut-turut menunjukkan nilai 2,82 dan 6,50. Pemeriksaan dengan mesin Los Angeles dengan 500 putaran menunjukkan keausan pumice sebesar 40,4 %.

Daftar 1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Pasir

Lubang ayakan (mm)	Berat tinggal (gram)	Persen tinggal	Persen tinggal komulatif	Persen lolos komulatif	Syarat zone 2 SK-SNI-1990
4,8	148,80	5,626	5,626	95,374	90 - 100
2,4	342,05	12,934	18,560	81,440	75 - 1000
1,2	470,10	17,776	36,336	63,664	55 - 90
0,6	605,50	22,895	59,231	40,769	35 - 59
0,3	382,90	14,478	73,709	26,291	8 - 30
0,15	414,70	15,681	89,390	10,610	0 - 10
sis	280,60	10,610			
Jumlah	2644,65	100	282,852		

Daftar 2. Hasil Pemeriksaan Gradasi Pumice

Lubang ayakan (mm)	Berat tinggal (gram)	Persen tinggal	Persen tinggal komulatif	Persen lolos komulatif	Syarat Ø 20 SK-SNI-1990
40	0	0,00	0,00	100,00	100
20	93,40	2,676	2,676	97,324	95 - 100
10	1640,50	47,010	49,686	50,314	25 - 55
4,8	1690	48,428	98,114	1,886	0 - 10
2,4	65,80	1,886	100	0	
Jumlah	3489,70	100	650,477		

2. Hasil Perancangan Adukan

Perancangan adukan memberikan kebutuhan bahan susun adukan beton seperti tercantum dalam Daftar 3.

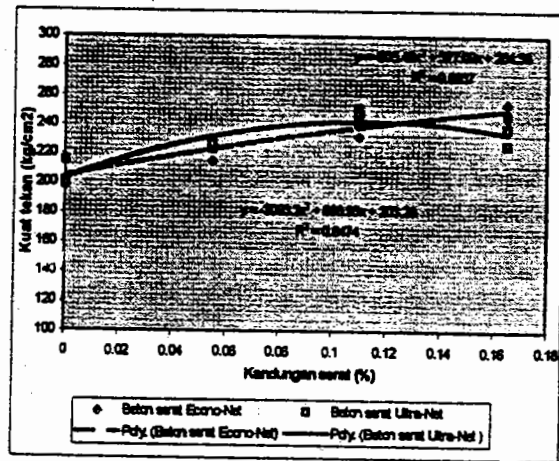
Daftar 3. Kebutuhan Bahan Susun

Kode	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Super Plast.(lt)	Serat SE gram (%)	Serat SU gram (%)
BN	22,5	10	31,7	25,9			
BSE1	22,5	10	31,7	25,9	0,15	25 (0,055)	
BSE2	22,5	10	31,7	25,9	0,15	50 (0,110)	
BSE3	22,5	10	31,7	25,9	0,15	75 (0,165)	
BSU1	22,5	10	31,7	25,9	0,15		25 (0,055)
BSU2	22,5	10	31,7	25,9	0,15		50 (0,110)
BSU3	22,5	10	31,7	25,9	0,15		75 (0,165)

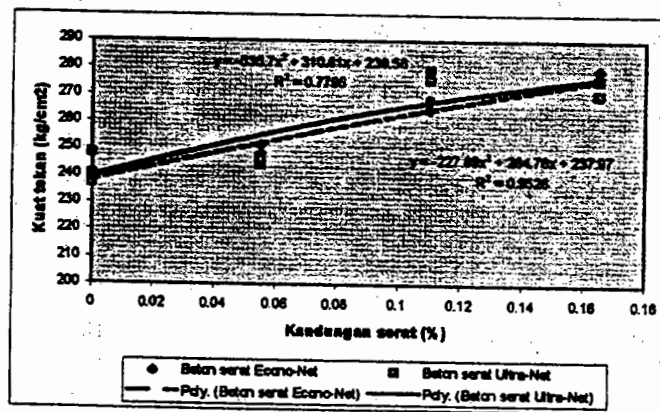
3. Hasil Pemeriksaan Nilai Slam dan Compacting Factor

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai slam dan *Compacting Factor* akan semakin kecil seiring dengan peningkatan konsentrasi serat yang ditambahkan ke dalam adukan (Gambar 1 dan 2). Hal ini disebabkan karena adanya sifat adhesi serat dan gaya gesekan antara serat dengan bahan susun beton yang lain, sehingga kelecakan adukan menjadi turun. Nilai slam terkecil didapat dari beton yang ditambah dengan serat Ultra-Net dengan konsentrasi tertinggi sebesar 30 mm, yang berarti bahwa adukan masih mempunyai tingkat kemudahan pengerjaan yang cukup baik.

Pada pengujian kemudahan pengerjaan tersebut, baik untuk serat Econo-Net, Ultra-Net, maupun beton non-serat, pada konsentrasi serat terendah tidak diperlukan penambahan *superplasticizer*, karena masing-masing adukan telah mempunyai nilai



Gambar 3. Hubungan antara kandungan serat dan kuat tekan beton umur 14 hari



Gambar 4. Hubungan antara kandungan serat dan kuat tekan beton umur 28 hari

Hasil lain yang didapat adalah pengembangan kuat tekan beton, dimana dari kurva regresi umur 14 hari untuk beton-EconoNet diperoleh kuat tekan sebesar 204,380 kg/cm² dan umur 28 hari sebesar 237,970 kg/cm², berarti bahwa pada umur 14 hari beton agregat ringan telah mempunyai kuat tekan sebesar 83,565 % kuat tekan umur 28 hari. Untuk beton-UltraNet, kuat tekan umur 14 hari adalah 82,143 % kuat tekan umur 28 hari. Derajat pengembangan kuat tekan ini hampir sama dengan yang terjadi pada beton normal.

Penambahan serat *polypropylene* pada adukan beton menunjukkan bahwa kuat tekan beton akan sedikit meningkat (Gambar 3 dan 4). Peningkatan kuat tekan yang

dipengaruhi oleh kekuatan agregat dan pasta semen. Berdasarkan pada mekanisme keruntuhan pada pemeriksaan tampang pecah, penambahan serat *polypropylene* akan menimbulkan lekatan antara serat dengan pasta semen sehingga akan membantu mencegah terjadinya retak-retak yang mungkin akan timbul sebagai akibat susut pengerasan ataupun tegangan-tegangan dalam beton.

Kuat tekan terbesar pada umur 28 hari diperoleh oleh beton serat Econo-Net konsentrasi 0,165 % (BSE3-1500 gr/m³ beton) yaitu 27,55 Mpa atau meningkat 15,75 % dibandingkan beton polos (BN) pada umur yang sama. Dari Gambar 3 dan 4 terlihat bahwa konsentrasi serat optimal Econo-Net belum tercapai, sehingga konsentrasi masih dapat diperbesar.

Pengujian beton serat Ultra-Net konsentrasi 0,165 % (BSU3-1500 gr/m³ beton) menunjukkan hasil yang lebih rendah dibanding BSU2 (konsentrasi 0,110 % -1000 gr/m³ beton), yang kemungkinan disebabkan oleh sulitnya mendapat penyebaran serat yang merata sehingga homogenitas adukan tidak dapat terjamin.

5. Ketahanan Kejut Beton

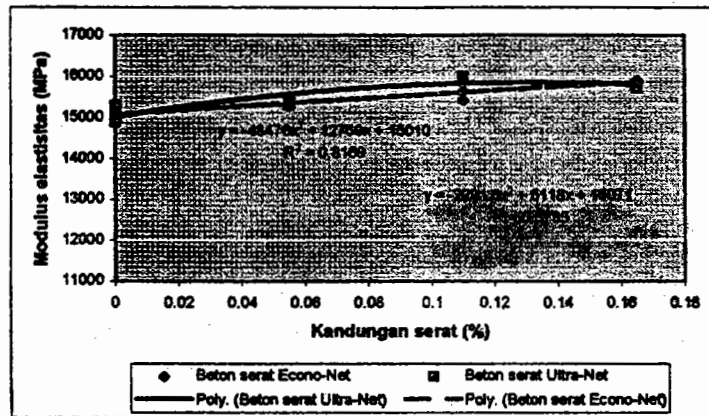
Pengujian ketahanan kejut beton dilakukan pada umur beton 14 dan 28 hari, dengan jumlah benda uji masing-masing pengujian adalah tiga buah. Ketahanan kejut beton didapat dari jumlah pukulan yang menyebabkan benda uji mengalami kehancuran yang hasilnya dicantumkan pada Daftar 5.

Daftar 5. Ketahanan Kejut Beton

Kode benda uji	mm-%serat	14 hari		28 hari	
		jml.pukulan	%	jml. pukulan	%
BN	0	263	100,000	531	100,000
BSE1	19 - 0,055	668	253,992	773	145,574
BSE2	19 - 0,110	914	347,529	1190	224,105
BSE3	19 - 0,165	1001	380,608	1781	335,405
BSU1	54 - 0,055	796	382,692	1203	210,683
BSU2	54 - 0,110	1322	635,577	1619	283,538
BSU3	54 - 0,165	1787	859,135	1819	318,564

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat mengakibatkan ketahanan kejut beton meningkat sangat drastis. Semakin besar konsentrasi serat, ketahanan kejut beton juga akan semakin besar (lihat Gambar 5 dan 6). Dari kurva regresi terlihat bahwa ketahanan kejut terbesar untuk beton serat Econo-Net pada umur 14 dan 28 hari didapat dari konsentrasi 0,165 % (BSE3-1500 gr/m³ beton); yaitu 1007 pukulan untuk mencapai hancur total (peningkatan sebesar 421 %) untuk umur 14 hari dan 1681

20000 - 30000 Mpa. Hal ini disebabkan karena modulus elastik agregat ringan yang rendah, dan dapat lebih rendah dari modulus elastik pasta semennya.



Gambar 8. Hubungan antara Modulus Elastik dan Kandungan Serat (28 hari)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Beton ringan dengan agregat *pumice* dapat digolongkan sebagai beton agregat ringan struktural dengan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 23,09 Mpa dan berat kering udara sebesar 1831,85 kg/m³ (lebih ringan ± 20 % dibandingkan beton normal). Beton jenis ini mempunyai modulus elastik ± 25 % lebih rendah dari beton normal.
2. Penambahan serat Econo-Net dan Ultra-Net akan menurunkan tingkat kemudahan pengerjaan beton. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan *superplasticizer* pada adukan beton.
3. Khusus untuk serat Ultra-Net, penambahan serat ke dalam adukan harus dilakukan secara cermat agar didapat penyebaran yang merata.
4. Penambahan CFP akan meningkatkan kuat tekan, ketahanan kejut, dan modulus elastik, berturut-turut sebesar 15,75 %, 218 %, dan 5 % dari beton normal.
5. Konsentrasi serat Econo-Net masih perlu ditambah untuk mendapatkan nilai optimum, sedang serat Ultra-Net kemungkinan konsentrasi serat masih dapat ditingkatkan dengan dibarengi penambahan kualitas pengadukan untuk mendapatkan penyebaran serat yang merata.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai beton ringan serat dengan agregat *pumice* (kuat tarik, kuat geser, kuat lentur, dan sebagainya).
2. Pemeriksaan tingkat kemudahan pengerjaan adukan dengan alat *Compacting Factor* perlu menggunakan timbangan dengan ketelitian yang lebih tinggi dari 0,10 kg untuk mendapatkan nilai yang akurat.
3. Penelitian lebih lanjut mengenai konsentrasi optimum serat Econo-Net maupun Ultra-Net pada beton ringan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1981, *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-81)*, American Concrete Institute, Michigan.
- Anonim, 1981, *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete (ACI 213R-79)*, American Concrete Institute, Michigan.
- Anonim, 1983, *FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete*, Federation Internationale de la Precontrainte (FIP), Surrey University Press, Surrey. UK.
- Anonim, 1992, *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02 Concrete and Aggregates*, ASTM, Philadelphia.
- Briggs, A. dan Bowen, D.H., 1974, *Mechanical Properties and Durability of Carbon Fibre Reinforced Cement Composite*, Proc. of International Conference Carbon Fibre, the Plastic Institute, London.
- Hannant, D.J., 1978, *Fibre Cement and Fibre Concrete*, John Willey & Sons Inc., New York.
- Murdock, L.J. dan Brook, K.M., 1984, *Concrete Materials and Practice*, Edward Arnold, New York.
- Neville, A.M. dan Brooks, J.J., 1987, *Concrete Technology*, John Willey & Sons Inc., New York.
- Soroushian, P. dan Bayazi, Z., 1987, *Concept of Fibre Reinforced Concrete*, Proc. of the International Seminar on Fibre Reinforced Concrete, Michigan.
- Sudarmoko, 1991, *Kuat Lentur Beton Serat dengan Model Skala Penuh*, Laporan Penelitian, PAU-Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Sudarmoko, 1993, *Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene pada Adukan terhadap Kuat Kejut*, Media Teknik No. 3 Th. XV, Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Suhendro, B., 1992, *Ketahanan Kejut (Impact Resistance) Beton Serat Lokal dan Kemungkinan Aplikasinya pada Struktur Sabo untuk Penanggulangan Bahaya Gunung Merapi*, Laporan Penelitian, PAU-Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta.